

TÜNEL YANGINLARININ VE YANGIN GÜVENLİĞİ İÇİN KULLANILAN HAVALANDIRMA SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Serkan KAYILI*

ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü
kayili@metu.edu.tr

Tolga KÖKTÜRK

ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü
tolga@metu.edu.tr

O. Cahit ERALP

ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü
ceralp@metu.edu.tr

ÖZET

Dünyada, tüneller kara yolu ve demir yolu ulaşımında sıkça kullanılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de kara yolu ve demir yolu ulaşımı için tünel inşaatlarına hız verilmiştir. Tüneller, güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için uluslararası standartlarda belirlenen şartları sağlayabilecek yangın güvenlik sistemleri ile donatılmalıdır. Acil durum havalandırma sistemleri, tünel içindeki dumanı ve sıcak havayı tahliye etmek için kullanılmaktadır. Isı yayılımı ile duman, yangından kaçarken insanların aşırı ısıya maruz kalmalarına, önlere görmemelerine, paniğe kapılmalarına ve zehirlenip boğulmalarına neden olur. Bu çalışmada tünel yangınları ile diğer kapalı alan yangınları arasındaki fark ve benzerlikler ve tünellerde yangın sırasında güvenliği sağlamak amacıyla kullanılan yangın havalandırma sistemleri ile bu sistemlerin özellikleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tünel yangınları, acil durum havalandırması, yangın güvenliği

Properties of Tunnel Fires and Ventilation Systems Used For Fire Safety

ABSTRACT

Tunnels are frequently used in highway and railway transportation. In recent years, tunnel constructions for highway and railway systems in Turkey have increased. Tunnels are equipped with fire safety and emergency ventilation systems for passenger safety to satisfy the criteria specified by international standards. Emergency ventilation systems are utilized to extract heat and smoke from the tunnel. Smoke with heat release causes people to be exposed to high temperature, prevents people to see the escape route clearly, makes them panic and causes them to get choked. In this study, differences and similarities between tunnel fire and other enclosure fire are mentioned. Also, the types and features of tunnel fire ventilation systems are studied.

Keywords : Tunnel fire, emergency ventilation, fire safety

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 03.03.2010

Kabul tarihi : 05.05.2010

GİRİŞ

Yangın fiziksel ve kimyasal bir olaydır. Isı, yakıt (yanıcı madde) ve oksijenin uygun oranda bir araya gelmesi ile başlayan reaksiyona 'yanma'; yanma olayının kontrol dışı gelişen haline “yangın” denilmektedir. Yangın sırasında alevin, yakıtın ve çevresinin birbirleriyle etkileşimi çoğunlukla doğrusal değildir. “Kapalı alan yangını” terimi yangının bir oda veya buna benzer etrafı çevrelenmiş bir alanda çıkması durumunda kullanılan bir tanımdır. Kapalı bir ortam içinde malzeme yanıyor ise yangın gücüne ve yanma hızına etkili olan başlıca iki parametre vardır. Birincisi, sıcak gazların tavan kısmında birikmesi sonucunda tavanın ve duvarların ısınması; dolayısı ile bu yüzeylerin ve sıcak gaz katmanının yakıt yüzeyine doğru ışıma yoluyla ısı transferi yaparak yanma hızını artırmasıdır. İkinci etken ise mekândaki havanın giriş yapabileceği kısımların kısıtlı olması sonucunda yanma için gerekli olan oksijen miktarının elde edilebilirliğinin sınırlanmasıdır. Bu nedenle malzemelerin yanma hızı ve çevreye yaydıkları ısı gücü azalmakta ve yanmayan gazların konsantrasyonunda artış olmaktadır. Tünelde çıkan yangınlarda kapalı alan yangını olarak sınıflandırılırlar. Ancak tünel yangınında yolcu tahliyesi için gerekli olan acil durum havalandırma sistemi yanma için gerekli olan oksijen miktarından fazlasını sağlamaktadır. Araştırmalar sonucunda, tünel içindeki bir yangının ısıl gücünün (yangın yükü) aynı malzemelerin kullanıldığı açık hava yangınının ısıl gücünden dört kat fazla olduğu tespit edilmiştir[1].

YANGIN GELİŞİM EĞRİSİ

Yangın, dört evreden oluşmaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi yangın sırasıyla; tutuşma, büyüme, tam gelişmiş yangın ve sönme evrelerinden oluşmaktadır.

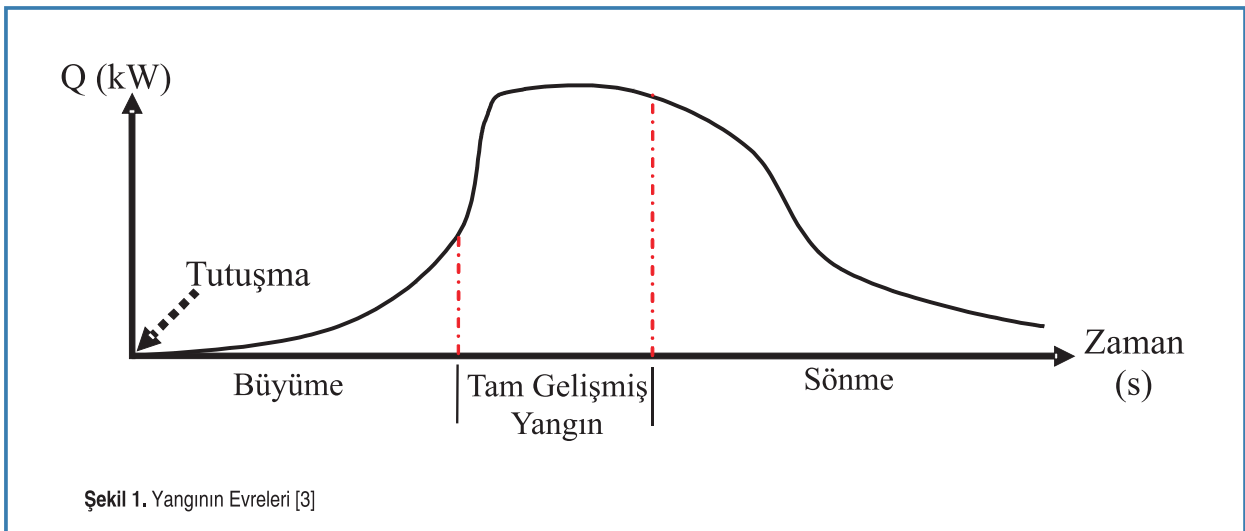
Tutuşma, yangının başlaması için gerekli olan enerjinin verilmesi sonucunda yanma reaksiyonunun başlaması

olayıdır. Tutuşma bir alev kaynağından olabileceği gibi ortamdaki sıcaklığın yükselmesiyle de olabilir. Yangının büyüme evresinde ise yangın gelişimi; yanan malzemelerin özelliğine, ortamdaki oksijen miktarına, ortam konfigürasyonuna ve yanma tipine bağlı olarak hızlı veya yavaş olabilir. Çevredeki malzemelerin ortamdaki ısı transferi sonucunda sıcaklıkları artarak yanmaya başlarlar. Sıcaklığın artması sonucunda öyle bir an gelir ki ortamdaki cisimlerin birçoğu tutuşma sıcaklığına ulaşarak aniden yanmaya başlar. Bu ani reaksiyon “parlama” (flashover) olarak tanımlanır. Bu evreyi takip eden tam gelişmiş yangın evresinde, ortamdaki tüm yanıcı maddelerin yanmaya başladığı düşünülür. Bu evrede yangının ısıl gücü en yüksek değere ulaşır ve ortamdaki oksijen miktarı azdır. Tam gelişmiş yangın evresinde, yangının büyümesi oksijen miktarı ile sınırlıdır. Sönme evresinde ise ortamdaki yanan malzeme tükenmesi sonucunda yangın ısıl gücü azalmaktadır. Bu evrede yangın yakıt kontrollü bir yangındır.

TÜNEL YANGINLARI İLE KAPALI ALAN (KOMPARTMAN) YANGINLARININ FARKI

Tünel yangınları ile kompartman yangınları arasındaki farklar şunlardır[1]:

1. Kompartman yangınında maksimum yangın gücü genellikle doğal havalandırma faktörü olan $A_0(h_0)^{1/2}e$ bağlıdır. Burada A_0 kompartmandaki dışarı açılan alanı ve h_0 ise bu açıklığın yüksekliğini ifade etmektedir. Tünelde ise doğal havalandırma sırasındaki yangın büyüklüğü, tünel eğimine, kesit alanına, uzunluğuna, tünel duvar özelliklerine ve girişteki meteorolojik koşullara bağlıdır. Tünel havalandırma sistemleriyle donatıldıklarından kompartman yangınına göre daha fazla artık hava (oksijen) bulunmaktadır. Havalandırma hem yangın verimine hem de yangın yüküne etki etmektedir.



Şekil 1. Yangının Evreleri [3]

2. Yanabilir maddelerin bulunduğu kapalı bir alanda tüm yüzeylerin aniden yangına dahil olmasına parlama (flashover) denir. Kompartman yangınlarında parlama çok kısa zamanda gerçekleşmektedir. Tünel yangınlarında ise genellikle parlama olması muhtemel değildir. Yangın çevresindeki duvarlarda büyük ısı kayıpları olmaktadır. Buna rağmen, tren ve araç kabinleri içindeki yangınlarda parlama kolaylıkla olabilir. Tünel yangınında mekanik havalandırma etkisiyle havalandırma yönündeki araç tutuşabilir; fakat bu durum parlama olarak nitelendirilemez.
3. Tünel yangınlarında duman katmanı oluşumu kompartman içi yangınlara göre farklılık gösterir. Kompartman yangının başlangıç evresinde üst kısmında sıcak hava katmanı ve alt kısmında soğuk ve dumansız bölge bulunur. Buna benzer bir duman katmanı oluşumu, tünel eksenini doğrultusunda (boylamasına) havalandırma çalıştırılmadan önce tünel yangınlarının başlangıcında da görülür. Fakat, duman katmanı kademeli olarak tünel yüzeyine doğru yangından uzak bölgelerde alçalmaya başlar. Tünel çok uzunsa duman katmanı tünel tabanına kadar alçalır. Bu olgunun gerçekleşmesi yangından uzaklığa, yangının boyutuna, tünel tipine, çevresine ve yüksekliğine bağlıdır. Boylamasına havalandırma ile tünel içi hava hızı kademeli olarak artırıldığında bu katmanlaşmış kısım dağılır. Tünel havalandırma hızı belirli bir seviyeye ulaşmadığında duman havalandırma yönünün tersine hareket ederek ters katmanlaşma meydana getirir. Yangın tünel içinde gelişirken havalandırma ile etkileşim halindedir ve baca etkisi nedeniyle akışa karşı bir direnç yaratarak akışta değişimlere sebep olmaktadır.
4. Tüneldeki bir yangında havalandırma, yangın bölgesinde soğutma özelliği göstererek sıcaklığın yüksek değerlere ulaşmasını engeller.

TÜNELLERDE YANGIN GÜVENLİĞİ

Tünel yangınlarında ölümlerin birçoğu duman solunması sonucunda meydana gelir. Duman ve zehirli gazlar, yangından kaçarken insanların önlerini görmemelerine, bunun sonucunda paniğe kapılmalarına ve zehirlenip boğulmalarına neden olur. Ayrıca bu durum, yangın söndürme çalışmalarına da engel olmaktadır. Tünel sistemine kurulacak bir acil durum havalandırma sistemi, yangın sırasında oluşan dumanın ve ısının tünellerden uzaklaştırılmasını sağlayabilir. Böylelikle;

1. mahsur kalan insanların güvenli bir şekilde sistemi boşaltmaları sağlanacak,
2. yangın çıkan tünele giren personel veya itfaiye elemanı kurtarma, soğutma veya söndürme işlemi sırasında daha rahat çalışacaktır.

Acil durum havalandırması ile yangın sonucu oluşan duman

ve ısının tünelin diğer noktalarına yayılmadan dışarı atılması, sistemde yer alan yapı elemanlarının ve ekipmanların yangın sonucu oluşacak yüksek sıcaklıklardan zarar görmesini engelleyecektir. Tünellerde yangın sonucu oluşan ısı ve duman kontrolü için kullanılan havalandırma sistemleri bir sonraki bölümde incelenmiştir.

TÜNEL HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

Tünellerde kullanılan havalandırma sistemleri iki kategoride incelenebilir. Birincisi doğal havalandırma sistemi, ikincisi ise mekanik havalandırma sistemleridir.

Doğal Havalandırma

Mekanik havalandırma sistemi olmadan, tünel içindeki hava hareketi sonucunda oluşan havalandırmaya doğal havalandırma denir. Kısa tünellerde yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Ülkelerden ülkelere mekanik havalandırmanın gerekli görülmediği, sadece doğal havalandırmanın yeterli görüldüğü tünel uzunlukları farklılık göstermektedir. Almanya'da 350 ile 700 m uzunluğundaki tüneller için mekanik havalandırmaya gerek görülmemektedir. İngiltere'de doğal havalandırmanın yeterli görülebileceği tünel uzunluğunun üst limiti 400 m olup mekanik havalandırmanın gerekliliği ancak detaylı bir araştırma sonucunda belirlenmektedir. Amerika'da ise bu uzunluk 240 m olarak belirlenmiştir. Doğal havalandırmada normal olarak, tünel uçlarındaki sıcaklık ve yükseklik farkı sonucu oluşan statik basınç değişimleri ve araçların hareketleri sonucunda (piston etkisi) akış sağlanmaktadır. Ancak yangın durumunda araç hareketleri durdurulacağı için piston etkisi ortadan kalkmaktadır.

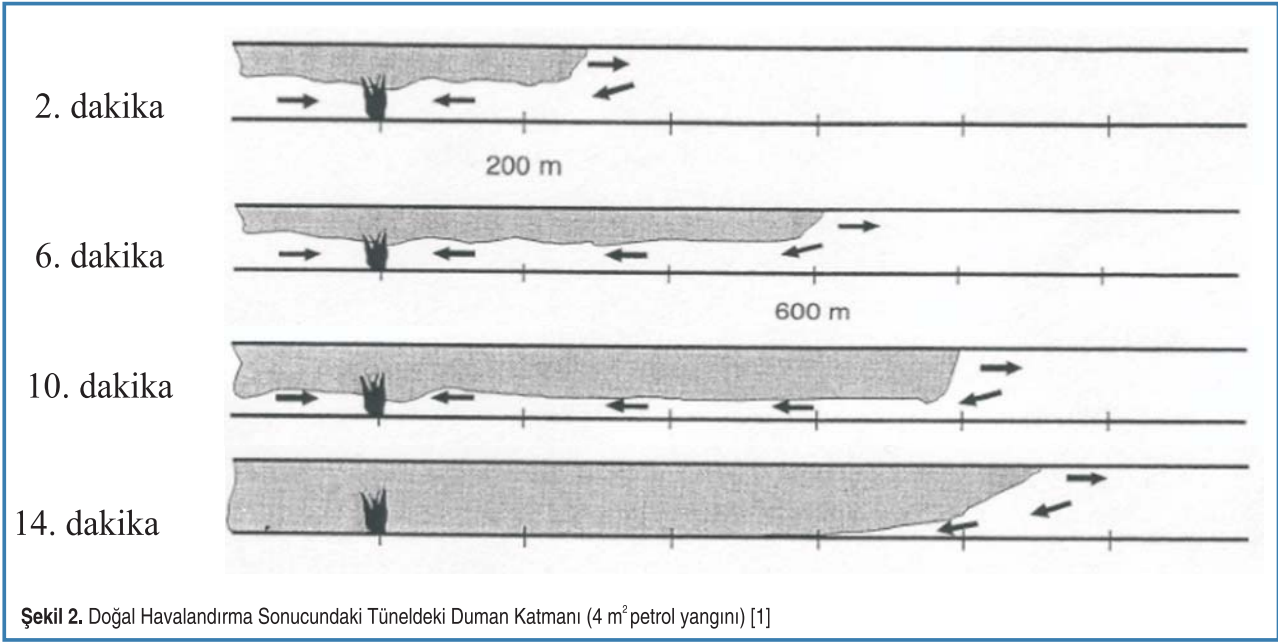
Tünelde yangın durumunda sıcak duman tavana doğru yükselir ve tavanda katmanlaşarak zamanla tünel boyunca yayılmaya başlar. Tünel duvarları ile ısı kaybı sonucu duman katmanı zamanla soğumaya başlar ve duman tabana doğru soğuk havayla karışarak alçalmaya başlar. Duman katmanı küçük boyutlu tünellerde belirli bir süre insanların kaçması için gerekli ortamı sağlar. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir. Yangın büyüklüğüne, gelişimine, tünel kesit alanına, eğimine, taşıtların oluşturduğu havalandırmaya ve hava şartlarına bağlı olan doğal havalandırma sistemi her zaman güvenilir bir ortam sağlamamaktadır.

Mekanik Havalandırma

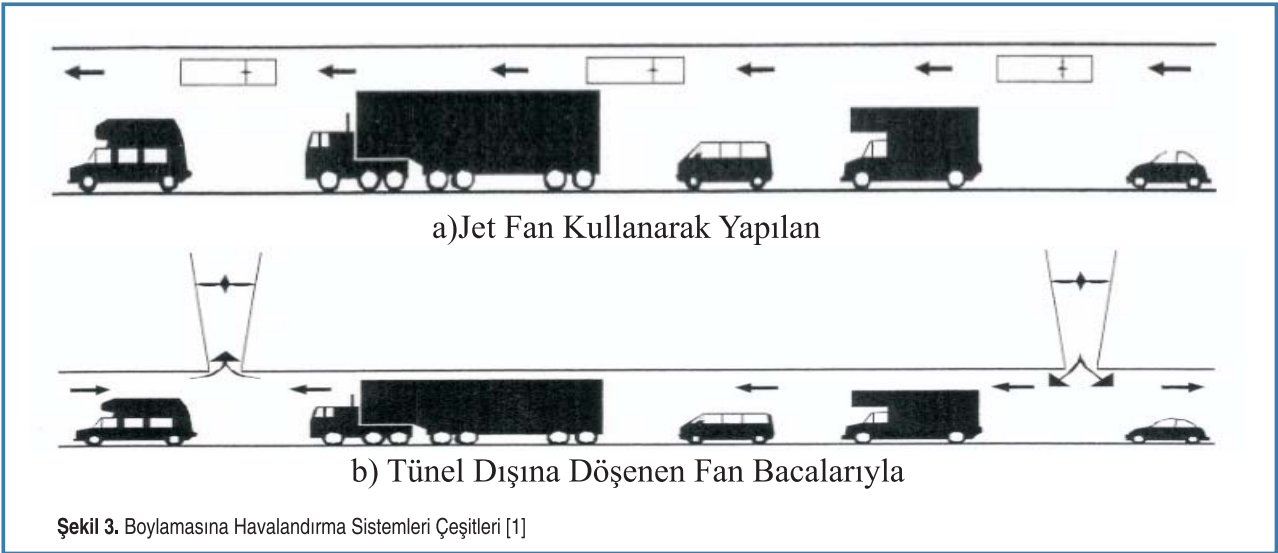
Mekanik havalandırma sisteminde temel amaç yangın bölgesinde oluşan dumanın fan kullanılarak uzaklaştırılmasıdır. Tünellerde kullanılan üç farklı mekanik havalandırma sistemi vardır: Bunlar boylamasına, tam dikine ve yarı dikine havalandırmadır.

Boylamasına Havalandırma Sistemi

Boylamasına havalandırma sisteminde tünel bir hava kanalı olarak kullanılır ve havalandırma sistemi için ayrıca bir boşluk bırakılmaz. Havalandırmada ya tünel boyunca döşenen jet fanlar ya da tünel dışına kurulan bacalara bağlanan fanlar kullanılır (Şekil 3).



Şekil 2. Doğal Havalandırma Sonucundaki Tüneldeki Duman Katmanı (4 m² petrol yangını) [1]



Şekil 3. Boylamasına Havalandırma Sistemleri Çeşitleri [1]

Tünel boyunca döşenen jet fanlarla etkili bir havalandırma sağlanılmak isteniyorsa, jet fanlar portal ağızlarından en az 80-100 m içeriye yerleştirilmelidir[4]. Ayrıca jet fanlar arasındaki mesafeler de birbirlerinin akışını etkilemeyecek şekilde bırakılmalıdır. Tünelde yangın çıkması durumunda yangın sonucu oluşan duman bu sistemde bir yöne doğru yönlendirilerek hattın diğer tarafında dumansız bir bölge oluşturulur(Şekil 4). Jet fan tipi havalandırma fanlarının yerleştirilmesi için ayrı bir binanın veya yapının yapılmasına gerek yoktur. Bu sistemin montajı kolay olup diğer havalandırma sistemlerine göre daha az maliyetlidir. Fakat, jet fanların montajı için daha yüksek veya geniş tünel yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Çok sayıda fanın kullanılması bakım ve işletme maliyetlerini artırmaktadır.

Jet fanların havalandırma için kullanılması tünel uzunluğu ve

trafiğin tek veya çift yönlü olmasına göre değişiklik göstermektedir. Bazı ülkeler boylamasına havalandırmanın kullanılabilceği tünel uzunluklarını sınırlandırmıştır. Tablo 1'de bu değerler verilmiştir.

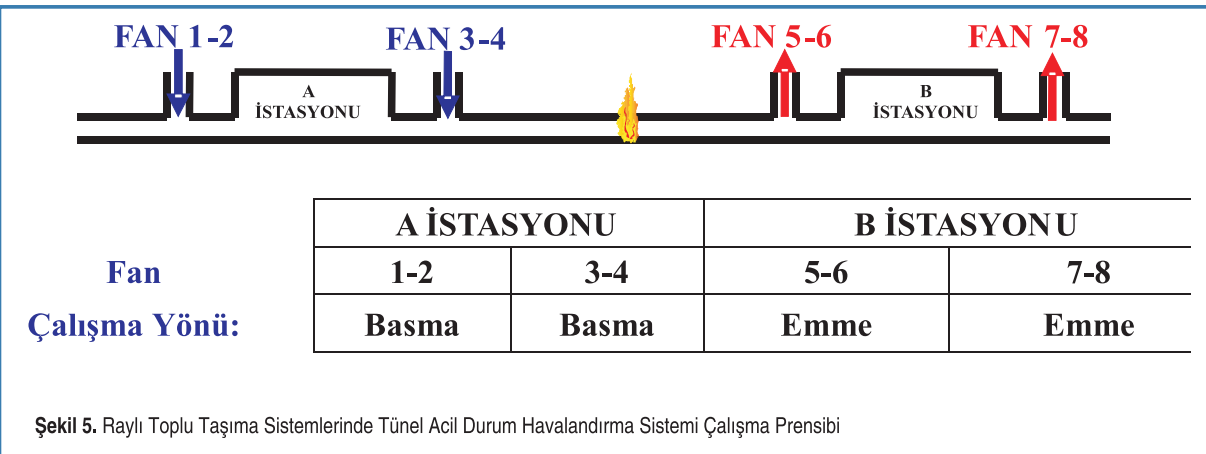
Yeraltı raylı toplu taşıma sistemlerinde kullanılan acil durum havalandırma sistemleri, genellikle basma çekme prensibini kullanarak, boylamasına havalandırma duman tahliyesini sağlamaktadır (Şekil 5). Basma çekme prensibi gereği, yangının bir tarafındaki istasyonda veya tünelde bulunan acil durum havalandırma fanları emme diğer taraftaki fanlar basma durumunda çalıştırılır. Tünel yangınlarında dumanı istenen yönde tahliye edebilmek ve insanlara güvenli bir kaçış yönü sağlamak amacıyla genel olarak istasyonların etrafında yer alan, acil durum havalandırma fanları kullanılmaktadır.



Şekil 4. Yangın Durumunda Boylamasına Havalandırma Sistemleri [1]

Tablo 1. Boylamasına Havalandırmanın Kullanılabileceği Tünel Uzunlukları [4]

Ülke	Kentçi		Şehirlerarası	
	Tek Yönlü Trafik	Çift Yönlü Trafik	Tek Yönlü Trafik	Çift Yönlü Trafik
Almanya	4 km jet fan ile	2 km jet fan ile	4 km jet fan ile	2 km jet fan ile
Fransa	800 m	-----	4000 m	800 m
A.B.D.	900 m	900 m	900 m	900 m



Şekil 5. Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinde Tünel Acil Durum Havalandırma Sistemi Çalışma Prensibi

Demir yolu tünellerinde jet fanlar tünel uzunluğuna göre tek havalandırma sistemi olarak kullanılabilir. Uzun yer altı demir yolu hatlarında makas bölgelerinde ve büyük alan değişimleri görülen bölgelerde olabilecek bir yangında, tasarım kriteri olan kritik hıza ulaşmak çok zor olmaktadır. Bu nedenle belirtilen bölgelerde en uygun havalandırılma sistemi, var olan tünel havalandırma fanlarıyla birlikte bu bölgelerde hem hava akışını yönlendirmek hem de dumanın ters katmanlaşmasını

önlemek için jet fanların kullanılmasıdır.

“Kritik Hız” terimi ters katmanlaşmanın önlenmesi için yangın üzerinden geçmesi gereken en düşük hava hızı değeridir. Kritik hız çeşitli parametrelere bağlıdır: Tünel yüksekliği, kesit alanı ve eğimi, hava sıcaklığı ve özkütlesi, yangının ısı gücü (yangın yükü). Kritik hız aşağıdaki denklemlerin tekrarlanan şekilde çözülmesiyle hesaplanır [4]:

$$V_c = K \cdot K_g \left(\frac{gHQ}{\rho c_p A T_f} \right)^{1/3} \quad (1)$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho c_p A V_c} + T \quad (2)$$

$$K_g = 1 + 0.0374(\text{eğim})^{0.8} \quad (3)$$

Bu denklemlerde, V_c (Kritik Hız [m/s]), H (Tünel Yüksekliği [m]), Q (Yangın Isıl Gücü [W]), g (Yerçekimi ivmesi [m/s^2]), ρ_a (Dış havanın özkütlesi [kg/m^3]), C_p (Havanın sabit basınçtaki ısı sığası [$J/kg.K$]), A (Tünel kesit alanı [m^2]), T_f (Duman Sıcaklığı [K]), K (0.61 []), K_g (Eğim doğrulama faktörü []), T_a (Dış Hava Sıcaklığı (°K)) ve eğim(% Eğim değerinin mutlak değeri) olarak gösterilmiştir [5].

Yangın bölgesinden geçen hava hızı daima kritik hız değerinden büyük veya eşit olmalıdır. Böylelikle duman ve sıcak gazlar akışın olduğu yöne doğru yönlendirilmiş olacak ve insanların güvenli bir şekilde dumandan etkilenmeden sistemi boşaltmaları sağlanacaktır. Eğer hava hızı kritik hız değerinden az ise ters katmanlaşma meydana gelir; duman ve sıcak gazlar havalandırma yönünün tersine hareket eder. Bu durum, kaçan yolcuların hayatını tehlikeye sokan, istenmeyen bir durumdur. “Ters katmanlaşma” duman ve sıcak gazların istenen havalandırma yönünde değil de tersi yönünde akmasını ifade etmek için kullanılır.

Tüneldeki bir yangında havalandırma sistemlerinin

tasarımında dikkat edilmesi gereken kriterler demir yolu tünelleri için NFPA 130 [7] ve Subway Environmental Design Handbook [8]'ta, kara yolu tünellerinde ise PIARC yayınları [4] ve NFPA 502 [9] standartlarında belirtilmiştir. Bunlar: (1) Havalandırma sisteminin sağladığı havalandırma hızı maksimum değer olarak insanların kaçışlarını güçleştirmemek için 11 m/s hız limitini aşmamalıdır (2). Havalandırma sistemi daima kritik hız değerinden yüksek hava hızı değeri sağlamalıdır. Böylelikle, duman akış yönüne doğru süpürülmüş olup; akış yönünün tersinde insanlar için güvenli bir kaçış yolu sağlanmış olacaktır (3). Havalandırma sistemi, yolcuların ve personelin tahliye yolu boyunca hava sıcaklığının $50^\circ C$ 'den az olmasını sağlamalıdır [7].

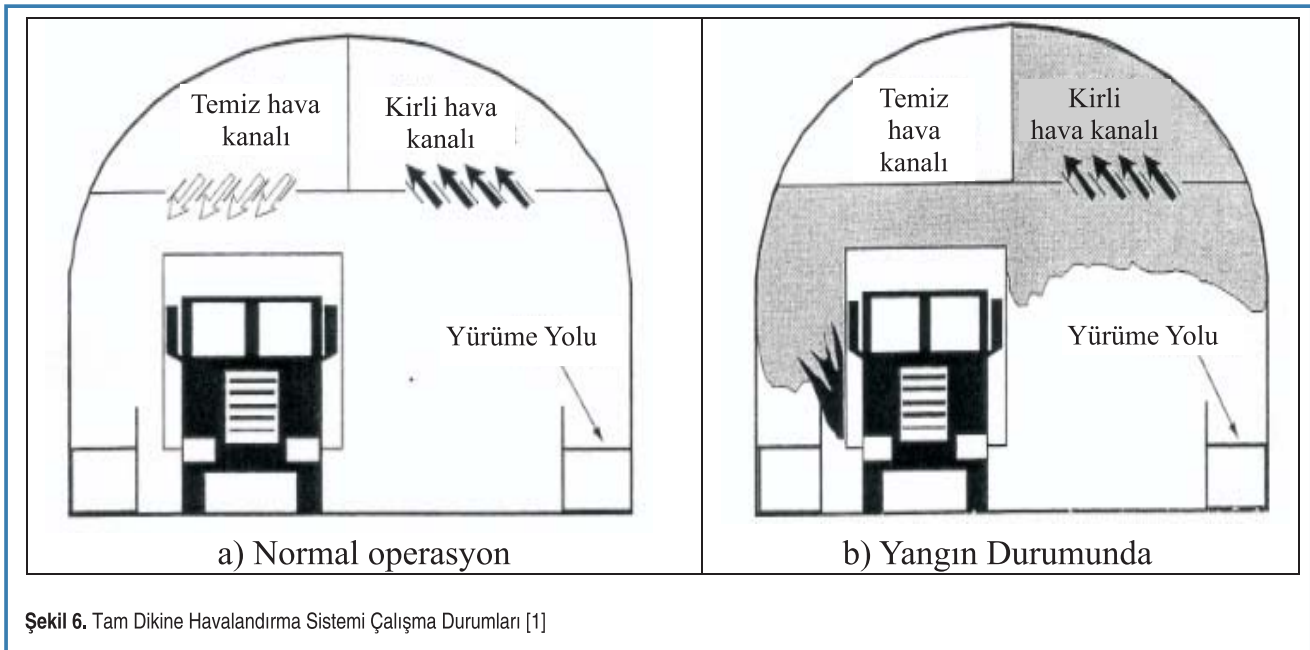
Tam Dikine Havalandırma Sistemi

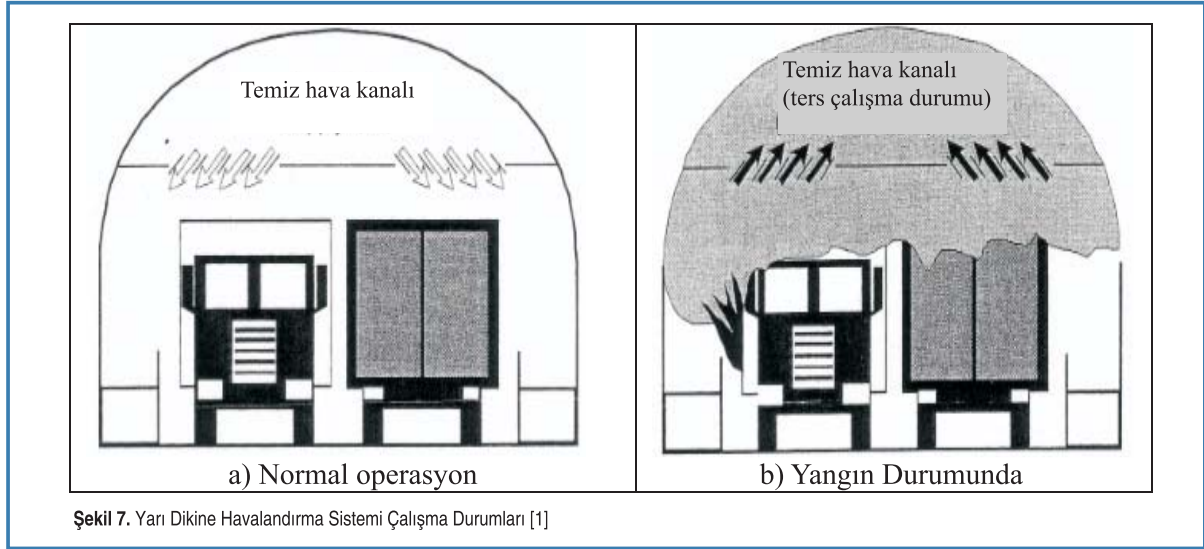
Tam dikine havalandırma sisteminde tünel boyunca döşenen iki farklı havalandırma kanalının menfezlerinin birinden tünele temiz hava sağlanırken diğerinden ise tünel içindeki kirli hava emilir. Bu iki kanaldan gelen hava debileri eşittir ve iki kanaldaki akış tünel ekseninin dikine bir havalandırma sağlar. Yangın sırasında ise tünele temiz hava sağlayan kısım kapatılır ve sistemdeki duman emiş kanallarından dışarı atılır.

Yarı Dikine Havalandırma Sistemi

Yarı dikine havalandırma sistemi tam dikine havalandırma sistemine benzer fakat bu sistemde sadece tünel boyunca döşenen tek bir havalandırma kanalı bulunmaktadır. Normal çalışma durumunda tünele temiz hava bu kanallardan verilmekte kirli hava ise tünel giriş ve çıkışlarından atılmaktadır. Yangın durumunda ise duman emişi bu kanallardan yapılarak duman tünelden uzaklaştırılmaktadır.

Dikine havalandırma sistemlerinde duman, yangın bölgesinin





Şekil 7. Yarı Dikine Havalandırma Sistemi Çalışma Durumları [1]

yakınındaki emiş kanalından atılabilmektedir. Boylamasına havalandırmada ise yerel olarak duman tahliyesi yapılamamaktadır. Boylamasına havalandırma sisteminde duman bir yöne doğru yönlendirilerek dumansız bir tahliye yolu oluşturulur. Böylelikle hem güvenli bir kaçış sağlanır hem de itfaiyenin müdahalesini kolaylaştırmış olur. Boylamasına havalandırma sisteminin dezavantajı, dumanın yönlendirildiği taraftaki ekipmanların zarar görmesi ve o kısımda kalan insanların mahsur kalma olasılığıdır. Dikine havalandırma sistemlerinde gerekli olan damperlerin açılıp duman tahliyesinin yapılabilmesi için yangın bölgesinin düzgün bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Kanalların yapılması ve ek havalandırma yapısına gerek duyulması, dikine havalandırma sistemlerinde yatırım maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Fakat sistemdeki bakım onarım maliyetleri daha düşük seviyelerdedir.

Yarı ve tam dikine havalandırma sistemleri çalıştığında tüneldeki boyuna havalandırma hızı duman katmanının dağılmaması için 2 m/s'nin altında kalması gerekmektedir[1]. Dikine havalandırma sistemleri çift yönlü trafiğin olduğu yol tünellerinde tercih edilmektedir.

Acil Durumda Kullanılan Fanların Özellikleri

Fanların çalıştıkları havalandırma sistemlerinde gerekli basma yüksekliği farklılık göstereceğinden her sistem için fan basma yüksekliğinin tespiti gerekmektedir. Fanlar, raylı toplu taşıma sistemlerinde kullanılacaksa veya iki taraflı çalışması gerekli ise besleme ya da boşaltma (basma ve emme) durumunda çalışabilen, ters çalışırken performansı düşmeyen, aksel akış fanlarından seçilmelidir. Tünelde kullanılan ve duman mücadelesinde gerekli olan tüm donanım sıcaklığa dayanıklı olarak seçilmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada tünel yangınları ile kompartman yangınları arasındaki benzerlikler ve farklılıklara değinilmiştir. Ayrıca

tünel havalandırma sistemlerinin tiplerinden bahsedilmiştir. Tünelde kullanılacak havalandırma sisteminin tünelin uzunluğuna, yangın yüküne ve çevre şartlarına göre farklılık gösterebileceği tartışılmış ve tüneldeki havalandırma sistemi seçilirken, havalandırma sisteminin yangın durumunda uluslararası standartlarda önerilen ve yangında güvenlik için gerekli bütün şartları sağlamasına dikkat edilmesi gereği ortaya konulmuştur. Bahsedilen konular ışığında, mevcut sistemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını bilmenin ve uygulanacak sistem seçilirken bunları göz önünde bulundurmanın doğru ve güvenli uygulamalar için önem taşıdığı vurgulanmıştır.

KAYNAKÇA

1. Beard, A., Carvel, R. 2005. The Handbook of Tunnel Fire Safety, Thomas Telford Publishing.
2. Karlsson, B., Quintiere, J. G. 2000. Enclosure Fire Dynamics, CRC Pres.
3. Drysdale, D. 1999. An Introduction to Fire Dynamics, John Wiley & Sons.
4. PIARC Fire and Smoke Control in Road Tunnels, The World Road Association (PIARC) report No: 05.05.B, 1999.
5. Kennedy, W.D., Gonzalez, J.A., Sanchez, J.G. 1996. Derivation and Application of the SES Critical Velocity Equations, ASHRAE Journal, Paper H-0053.
6. Li, J.S.M., Chow, W.K. 2003. Numerical Studies On Performance Evaluation of Tunnel Ventilation Safety Systems, Tunnelling and Underground Space Technology, Sayı18, sayfa 435-432
7. National Fire Protection Association, NFPA 130-Standard for Fixed Guideway Transit System, NFPA, ABD, 2003 Edition
8. Subway Environmental Design Handbook, V.1, Principles and Applications, 2nd Edition, U.S. Department of Transportation, 1976
9. National Fire Protection Association, NFPA 502-Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highway, NFPA, ABD, 2001
10. National Fire Protection Association, Fire Protection Handbook, NFPA, 7TH Baskı, 1991